

**Auswirkungen einer längeren Immobilisation auf die
Herz- und Kreislaufdynamik, Elektrokardiogramm
Lungenfunktion und Herzvolumen**

von

Richard Kessel

aus

Riedenburg / Opt.

1972 444

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. C. Korth

**Auswirkungen einer längeren Immobilisation auf die
Herz- und Kreislaufdynamik, Elektrokardiogramm
Lungenfunktion und Herzvolumen**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Richard Kessel

aus

Riedenburg / Opf.

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. G. Koch

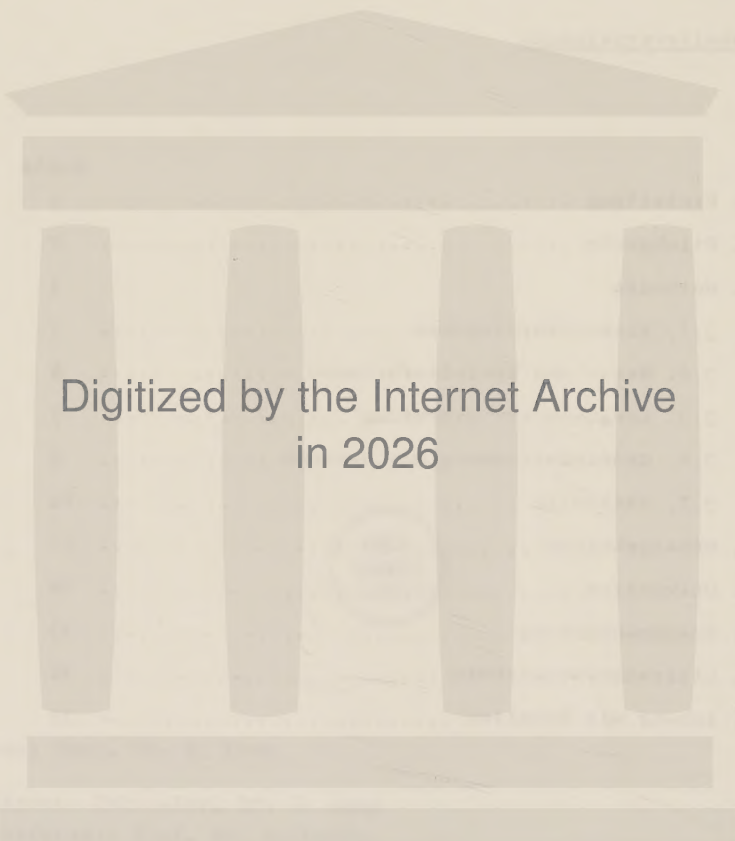
Referent: Priv.-Doz. Dr. E. Lang

Korreferent: Prof. Dr. C. Korth

Tag der mündlichen Prüfung: 27.6.1972

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Stichprobe	2
3. Methodik	3
3.1. Elektrokardiogramm	3
3.2. Herz- und Kreislaufdynamik	4
3.3. Lungenfunktionsprüfung	7
3.4. Größenbestimmung des Herzens	8
3.5. Statistik	10
4. Meßergebnisse	11
5. Diskussion	29
6. Zusammenfassung	33
7. Literaturverzeichnis	34
8. Anhang mit Tabellen	37



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548611_0108

Auswirkungen einer längeren Immobilisation
auf die Herz- und Kreislaufdynamik, Elektrokardiogramm,
Lungenfunktion und Herzvolumen.

Während noch vor einigen Jahren Patienten nach operativen Eingriffen häufig länger als notwendig strenge Bettruhe einhalten mußten, versucht man heute, eine längere Immobilisierung zu vermeiden. Der Wunsch, diese Immobilisierungsphase möglichst kurz zu halten, ist begründet in der Furcht, daß längere Immobilisierung vor allem die Funktion von Herz, Kreislauf und Lunge gefährdet. Im Gegensatz zu den vielen Untersuchungen, die über das Verhalten des Kardio-Pulmonal-Systems bei Sportlern (z.B. 18) oder unter dem Einfluß eines körperlichen Trainings (z.B. 3, 7, 13) informieren, findet man in der einschlägigen Literatur wenig Anhalt bei der Suche nach exakten Angaben über die pathophysiologischen Vorgänge bei längerer Immobilisierung.

Die folgende Untersuchung versucht zu klären, welchen Einfluß eine längere Immobilisation auf die Funktion von Herz, Kreislauf und Lunge hat: Wie wirkt sich eine längere Immobilisation auf die Herz- und Kreislaufdynamik, Elektrokardiogramm, Lungenfunktion und Herzvolumen aus?

2. Stichproben

Untersucht wurden insgesamt 16 Patienten (15 Frauen und ein Mann) der Orthopädischen Klinik Erlangen. Das Durchschnittsalter war 28 Jahre, der älteste Patient war 43 Jahre, der jüngste 12 Jahre alt. Für unsere Untersuchung mußten die Patienten über längere Zeit (mindestens 3 Wochen) immobil sein, das heißt, sie mußten auf Grund ihrer Erkrankung mindestens 3 Wochen strenge Bettruhe einhalten. Außerdem mußten sie "herzgesund" sein, darunter verstehen wir:

1. Keine subjektiven Herzbeschwerden.
2. Klinisch ohne pathologischen Befund.
3. Normales Elektrokardiogramm.
4. Normales Thorax-Schirmbild.

Die Diagnosen der einzelnen Patienten waren:

1. Coxarthrose links
2. " "
3. " beiderseits
4. Dysplasiecoxarthrose
5. Coxarthrose beiderseits
6. Hüftgelenkdyplasie, beginnende Arthrose
7. Hüftdyplasie beiderseits
8. Coxarthrose links, Zustand nach Ober- und Unterschenkel-fraktur
9. Subtalare Arthrodese nach postpoliomyelitischer Fußdeformität
10. Skoliose
11. Hüftdyplasie links
12. Coxarthrose beiderseits
13. Hüftdyplasie beiderseits
14. Coxarthrose
15. Coxa plana rechts
16. Zustand nach habitueller Patellaluxation

Bei diesen Patienten wurde jeweils vor und nach dieser strengen Bettruhe ein Elektrokardiogramm (12 Ableitungen), eine Herz- und Kreislaufdynamik und Lungenfunktionsprüfung aufgezeichnet. Das Herzvolumen konnte nur in 5 Fällen bestimmt werden.

3. Methodik

3.1. Elektrokardiogramm (5, 8)

Als Registriergerät stand der SIEMENS-CARDIREX-6fach-Düsenschreiber zur Verfügung, mit dem folgende EKG-Ableitungen, ebenso wie Phonokardiogramm und Karotis- und Femoralispulskurve, aufgezeichnet wurden:

- a. Bipolare Extremitätenableitungen (I, II, III) nach EINTHOVEN.
- b. Die "unipolaren" Extremitätenableitungen (aVR, aVL, aVF) nach GOLDBERGER.
- c. Die Brustwandableitung ($V_1 - V_6$) nach WILSON.

Aus diesen EKG-Kurven wurden folgende Parameter ermittelt:

Frequenz Fr, Typ und Dauer der Vorhofserregung, Überleitungszeit PQ, Typ und Dauer der Kammererregung (QRS-Gruppe), Typ der Endzacke des EKG, QT-Dauer, QT_{rel} , Übergangszone.

3.2. Herz- und Kreislaufdynamik (1,2,9,20,25,29,30,37)

Zur Analyse der Herz- und Kreislaufdynamik wurde ein indirektes Verfahren angewandt, eine Meßmethode, die ursprünglich von SCHULTZ angegeben und später von BLUMBERGER erweitert und in die Klinik eingeführt wurde. Die einzelnen Parameter der Herzdynamik sind die Abschnitte der Herzaktion und wurden aus den synchron registrierten Karotis- und Femoralispulskurven, dem EKG in Standardableitung und dem Phonokardiogramm bestimmt bzw. errechnet.

Bei der Erregung des Herzens, die sich im EKG zeigt, ist der QRS-Komplex Ausdruck der Erregungsausbreitung in der Kammer, die Q-Zacke entspricht also dem Beginn der Herzerregung und markiert den Anfang der Systole. Mit dem Taschenklappenschluß, der die Inzisur auf der Karotispulskurve ergibt, endet die Systole, und die Diastole beginnt. Folglich wird nach dieser Methode die Gesamtsystole (A+S) aus der Entfernung Q-Zacke des EKG bis Beginn des nachfolgenden II. Herztons, die Austreibungszeit aus der Karotispulskurve (Steilanstieg bis Inzisur) und die Anspannungszeit aus der Differenz Gesamtsystole minus Austreibungszeit bestimmt. Die Diastolendauer wird vom Beginn des vorangehenden II. Herztons bis zum Beginn der nachfolgenden Q-Zacke des EKG gemessen. Die Umformungszeit entspricht der Distanz Q-Zacke bis Hauptsegment des I. Herztons (Segelklappenschluß) und die Druckanstiegszeit kann aus der Differenz Anspannungszeit minus Umformungszeit berechnet werden.

Diese Zeitwerte werden wegen der schon physiologisch bestehenden Schwankungen zwischen den einzelnen Schlägen nicht aus einer Herzaktion bestimmt, sondern als arithmetisches Mittel aus 10 Herzschlägen bei einer Laufgeschwindigkeit des Meßgerätes von 50 mm/sek.

Unter Kreislaufdynamik versteht man die quantitative Bestimmung der Volumenverschiebung sowie der Druck-, Elastizitäts- und Widerstandverhältnisse in den Gefäßen. In

unserem Fall wurden nach BROEMSER-RANKE die Volumenelastizität $E' = \frac{2\rho}{Aq} \times \frac{c}{S}$ und das Schlagvolumen $V_s = \frac{Aq \times \Delta p \times S \times T}{2\rho \times c \times (D+A)} \times z$ berechnet, die übrigen Kreislaufgrößen nach den folgenden

Formeln:

$$\text{Peripherer Widerstand } W = \frac{P_m \times T}{V_s} \text{ (dyn sek cm}^{-5}\text{)}$$

$$\text{Herzarbeit } H_a = 1,33 \times V_s \times P_m \text{ (cm g)}$$

$$\text{Herzleistung } H_1 = H_a / T \text{ (cm g sek}^{-1}\text{)}$$

Es bedeuten: Δp = Blutdruckamplitude; P_m = arterieller Mitteldruck;

Aq = Aortenquerschnitt (cm^2); S = Austreibungszeit; D = Diastolendauer; T = Pulsperiodendauer; c = Pulswellengeschwindigkeit; ρ = Massendichte (Viskosität) des Blutes (g cm^{-3}); E' = Volumenelastizität (dyn cm^{-5}); W = peripherer Widerstand (dyn sek cm^{-5}); $z = 1$; $33 \triangleq$ Proportionalitätskonstante;

$$\text{Dämpfungsfaktor } D = E' / W$$

$$\text{Druckanstiegsgeschwindigkeit } DAG = P_{\text{diast}} / \Delta Z$$

$$\text{Kontraktionsgeschwindigkeit } KG = V_s / S$$

Bei jedem Patienten wurde außerdem vor und nach der Bettruhe der Blutdruck und zur Berechnung der Pulswellengeschwindigkeit $c = \Delta s / \Delta t$ die Aortenlänge gemessen, die Entfernung der beiden Pulsabnehmer von Karotis über Herz -- Aorta -- Nabel zur Femoralis, wobei Δs der Differenz der Entfernung Karotispulsabnehmer -- Herz minus Herz -- Femoralispulsabnehmer entspricht.

Der Aortenquerschnitt wurde einer Tabelle nach Ad.H. Frucht entnommen⁽⁴⁾.

Nach ZISSLER⁽³²⁾ liegt bei dieser unblutigen Untersuchungsmethode der Herz- und Kreislaufdynamik das theoretische Fehlermaximum zwar bei 50-60%, sinkt jedoch bei der Messung

an gleichen Personen auf 20-30%. Ähnlich konnte SIEDEK⁽²⁰⁾ bei vergleichenden Kreislaufuntersuchungen mit Herzkatheter und physikalischen Methoden eine Differenz des Herzminutenvolumens sphygmographisch (BROEMSER-RANKE) und nach FICK feststellen, dessen Fehlergrenzen zwischen 6-20% lagen. Als Grund für diese Abweichungen kann man Fehler bei der Blutdruckmessung ansehen, außerdem wird der Aortenquerschnitt aus Tabellen ermittelt, wodurch ebenfalls Ungenauigkeiten auftreten können.

3.3. Lungenfunktionsprüfung (1,22)

Die Lungenfunktionsprüfung wurde bei allen Patienten unter annähernd gleichen Bedingungen durchgeführt, sie mußten aufrecht im Bett sitzend jeweils 3 mal nach kurzer Ruhepause in das Meßgerät, VITALOGRAPH, blasen, Nach maximaler Inspiration wurde dabei der forcierte Atemstrom bei der Ausatmung, dessen Umfang, Stärke und Geschwindigkeit von der eingesetzten Atemkraft, den sich entgegenstellenden Widerständen und der Zeitdauer der Ausatmung abhängen, graphisch dargestellt. Beim VITALOGRAPH wird die maximal eingeblasene Expirationsluft auf einer beweglichen Laufplatte mit Registrierkarte bei einer Laufgeschwindigkeit von 3 cm/sek aufgezeichnet. Um Meßfehler zu vermeiden, wurden entsprechend der Betriebsanleitung nur diejenigen Kurven ausgewertet, die immer nach links und oben konvex bleiben, einen möglichst steilen Anstieg haben und die höchsten Volumenregistrierwerte in ihrem Verlauf enthalten.

Anhand der gewonnenen Kurven kann die Vitalkapazität, der Atemstoß in der 1. Sekunde und der Tiffeneau-Test sowie der forcierte Atemstrom zu Beginn und im Mittelteil der Ausatmung bestimmt werden.

3.4. Die klinische Größenbestimmung des Herzens (10,11)

Zur Messung der Herzgröße wurde die röntgenologische Volumenbestimmung des Herzschat- tens durchgeführt, eine Meßmethode, von BÜCHNER, MUSSHOFF und REINDELL angegeben, von ROHRER und KAHLSTORF rechnerisch belegt und von LILJESTRAND u. Mitarb. auf die Gegebenheiten der Fernaufnahme übertragen. In unserem Fall wurde die Messung so durchgeführt, wie sie von MEYTHALER beschrieben wurde. Danach sind folgende Untersuchungsbedingungen die Voraussetzung zur Bestimmung des Herzvolumens: Die Lagerung des Patienten und die Entfernung des Untersuchten vom Fokus und vom Film.

Bei jedem Patienten werden jeweils zwei Aufnahmen angefertigt, die eine Aufnahme als posteriores anteriores Sagittaltbild, die andere als Rechts-Links-Queraufnahme, nicht synchron, sondern in zeitlichem Abstand. Die Auslösung der Aufnahmen erfolgte jeweils von einem "Herzphasenschalter", gesteuert durch die R-Zacke des EKG, und zwar mit einer derartigen Verzögerung, daß der Herzschatten immer in der maximalen Diastole des Kammerzyklus zur Darstellung kam. Da die Atemstellung des Untersuchten während der Aufnahme für die Herzgröße von Bedeutung ist, sollte der Patient mit zwar offenem Mund einatmen. Kurz vor der Aufnahme erhält der Patient außerdem einen Schluck Bariumbrei und schluckt eine zweite Portion unmittelbar vor dem Auslösen der Aufnahme, damit auf jeden Fall die Hinterwand des Herzens gegen den kontrastgefüllten Ösophagus abgegrenzt werden kann.

Zur geometrischen Volumenbestimmung des Herzschat-
tens wird seine Länge, Breite und Tiefe ausgemessen, wobei die Voraus-
setzung für die Flächenbestimmung im Sagittalbild die Re-
duktion der Herzsilhouette auf eine Ellipse ist. Für die
Bestimmung der Ellipse müssen Länge, Breite und Tiefe genau
senkrecht zueinander liegen und beide Linien einander halbie-
ren. Auf diese Weise kann man die Fläche der Ellipse

$$F_E = \frac{\pi}{4} \times l \times b \text{ berechnen.}$$

Zur Bestimmung des Herzvolumens V wird die nach der Ellip-
senformel errechnete Herzfläche mit dem größten Tiefendurch-
messer des Herzens multipliziert: $V = \frac{\pi}{4} \times l \times b \times t_{\max}$

Zur Berechnung des Herzvolumens ist der von ROHRER empirisch
und von KAHLSTORF mathematisch gefundene Korrelationsfak-
tor $K = 0,63$ für das Herz zugrunde gelegt, das in seiner
Formgestalt zwischen einem Ellipsoid ($K = 0,667$) und einem
Paraboloid ($K = 0,59$) liegt. Gleichzeitig wird die Röntgen-
projektion berücksichtigt, und so ergibt sich die Formel

$$V = \frac{\pi}{4} \times 0,63 \times l \times \frac{FF_{\text{sag}} - HMF_{\text{sag}}}{FF_{\text{sag}}} \times b \times \frac{FF_{\text{sag}} - HMF_{\text{sag}}}{FF_{\text{sag}}} \times t_{\max} \times \frac{FF_{\text{tr}} - HMF}{FF_{\text{tr}}}$$

HMT ist auf der Transversalaufnahme größer als in Wirklich-
keit, das Ausmaß der Vergrößerung errechnet sich aus dem
Strahlensatz:

$$\frac{Y}{A} = \frac{Y}{B}; \quad y = \frac{A \times Y}{B}$$

l = Längsdurchmesser der Herzschat-
tenellipse

b = Breitendurchmesser der "

$t_{\max}$ = maximaler Tiefendurchmesser des Herzschat-
tens

FF_{sag} = Fokus-Filmabstand bei der sagittalen Aufnahme

FF_{trans} = Fokus-Filmabstand bei der transversalen Aufnahme

HMF_{sag} = der variable Objekt-Filmabstand in der sagittalen Projekt.-Richtung

HMF_{tr} = Herzmitte-Filmabstand = Konstant

HMF_{sab} = $HMT_{sag} + FT$; HMT_{sag} = Herzmitte-Tischabstand,
ist dem Transversalbild zu entnehmen; FT = Film-
Tischabstand = konstant.

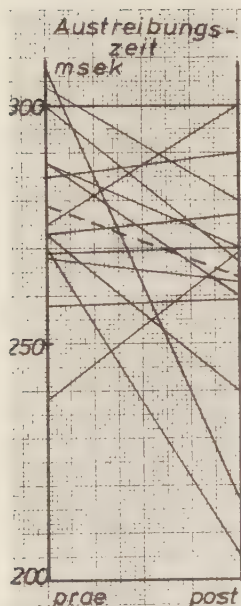
A = Fokus-Objektabstand; B = Fokus-Filmabstand;

Y = die wahre Objektgröße; y = die auf dem Film gemessene
Objektgröße.

3.5. Statistik (16)

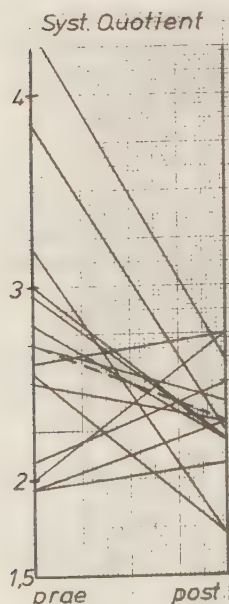
Die statistische Sicherung der Mittelwert-Differenzen erfolgt nach dem t-Test (STUDENT).

4. Ergebnisse der Messungen



Austreibungszeit (ATZ)

Die Normalwerte der Austreibungszeit schwanken bei der verwendeten Methode zwischen 0,2 - 0,31 sek. Bei Untersuchungsbeginn betrug die durchschnittliche ATZ 279,7 msec, bei Untersuchungs-ende 264,5 msec. Während dreiwöchiger Immobilisation verkürzt sich somit die ATZ um durchschnittlich 15,2 msec (5,5%). Diese Verkürzung unter Immobilisierung ist statistisch signifikant.



Systolischer Quotient (SQuo)

Die Normalwerte beim systolischen Quotienten schwanken bei unserer Untersuchungsmethode zwischen 2,5 - 4,0 (ausnahmsweise in Ruhe 5,0). Bei Untersuchungsbeginn betrug der durchschnittliche SQuo 2,7, bei Untersuchungs-ende 2,3. Somit verkleinert sich der SQuo während dreiwöchiger Immobilisation um 0,4. Diese Verkleinerung ist statistisch signifikant.

Abb. 11

Diastolendauer

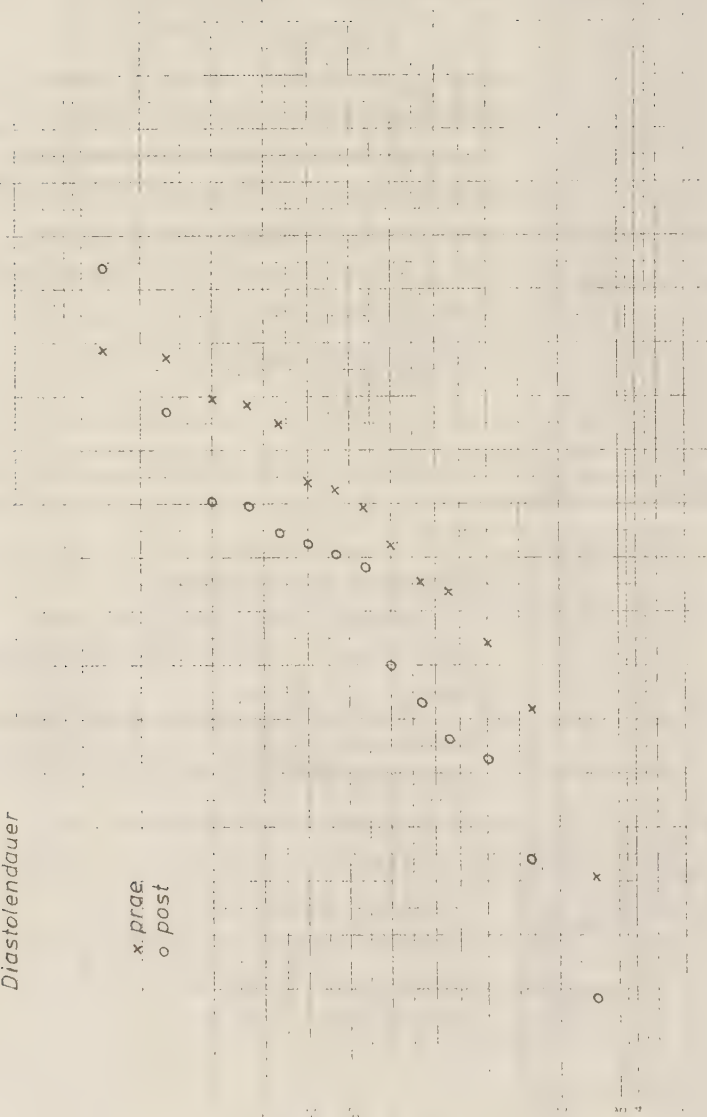
x. prae
o post

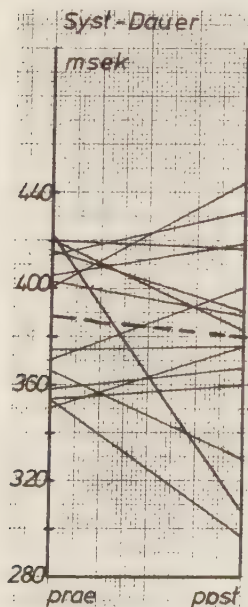
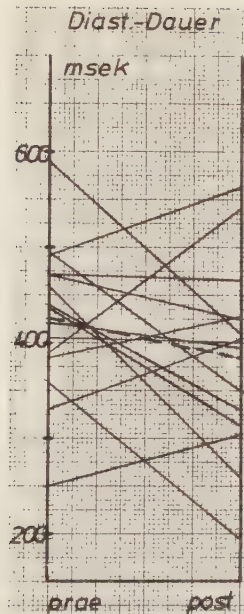
500

400

300

200





Diastolendauer (D)

Die Diastolendauer betrug bei Untersuchungsbeginn im Durchschnitt 428,8 msec, bei Untersuchungsende 385,9 msec. Die Abnahme der Diastolendauer unter Immobilisierung ließ sich statistisch nicht sichern; wie Abbildung 1 zeigt, herrscht jedoch fast durchgehend eine Tendenz zur Verkürzung der Diastolendauer vor.

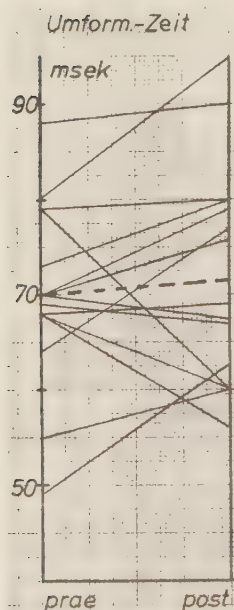
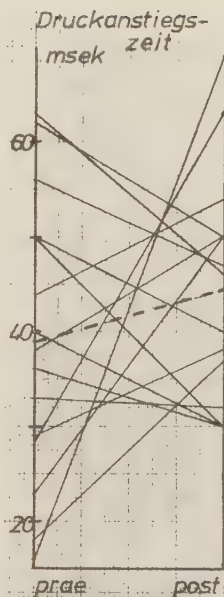
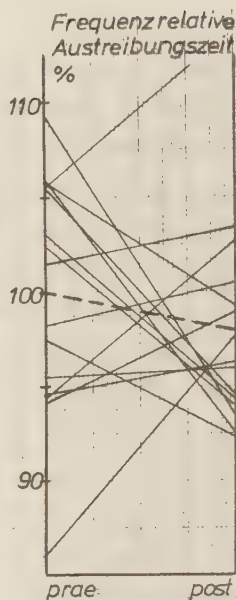
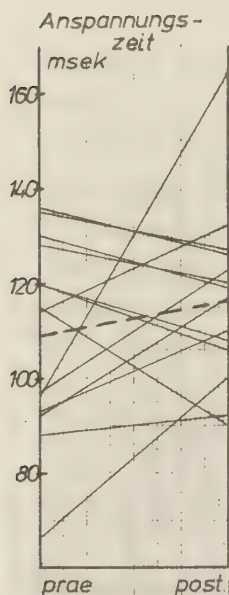
Systolendauer (A+S)

Der Mittelwert der Systolendauer ergab prae 388,3 msec, post 380,5 msec.

Diese Verringerung konnte statistisch nicht gesichert werden.

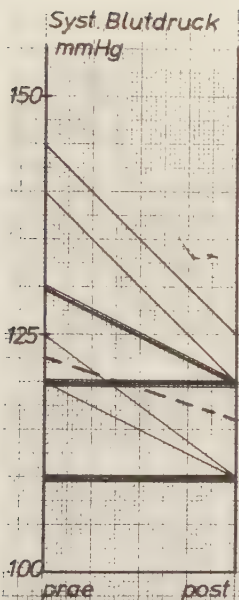
Abb. 1: Das sog. Wahrscheinlichkeitsnetz, bei dem sich, falls die Stichprobe einer zumindest angenähert normalverteilten Grundgesamtheit entstammt, im mittleren Wahrscheinlichkeitsbereich (zwischen 10% und 90%) eine Gerade (Prüfung auf Normalverteilung) ergibt, zeigt die deutliche Tendenz einer Verkürzung der Diastolendauer. Ordinate: Häufigkeitssummen in % der Gesamtzahl.

Abszisse: Merkmalsgrenzwert.



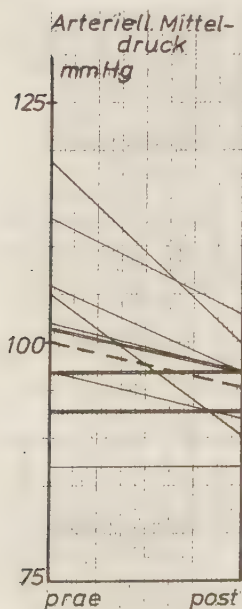
Die Anspannungszeit (Norm: 0,05-0,10 sek), die sich aus Umformungszeit (Norm: 0,04-0,07 sek) und Druckanstiegszeit (Norm: 0,015-0,045 sek) zusammensetzt, hatte den Mittelwert prae 109,06 msek, post 116,0 msek. Die Umformungszeit stieg im Mittelwert von prae 69,93 msek auf 71,60 msek, und die Druckanstiegszeit von prae 39,06 msek auf 44,4 msek. Trotz des leichten Anstiegs der Mittelwerte konnte weder bei der Anspannungszeit noch bei ihren Komponenten Umformungszeit und Druckanstiegszeit eine Verlängerung statistisch nachgewiesen werden.

Ebenso konnte bei der frequenzrelativen Austreibungszeit bei einem Abfall der Mittelwerte von prae 99,92% auf 98,17% keine statistische Sicherung erzielt werden.



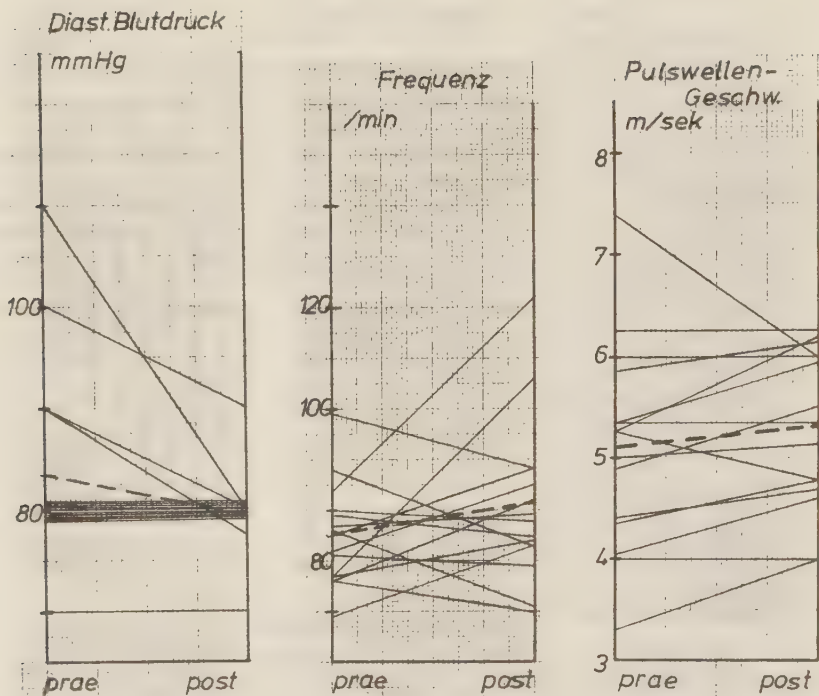
Systolischer Blutdruck

Der systolische Blutdruck betrug bei Untersuchungsbeginn durchschnittlich 122,7 mmHg, bei Untersuchungsende 116,3 mmHg. Während dreiwöchiger Immobilisierung sank somit der systolische Blutdruck um 6,4 mmHg (5,2 %). Dieses Absinken unter Immobilisierung ist statistisch signifikant.



Arterieller Mitteldruck

Entsprechend dem Abfallen des RR_{syst} sank auch der Mittelwert des arteriellen Mitteldrucks von prae 100,2 mmHg auf post 95,5 mmHg. Während dreiwöchiger Immobilisierung fiel der arterielle Mitteldruck somit um 4,7 mmHg (4,7%). Diese Abnahme unter Immobilisierung ist ebenfalls statistisch signifikant.



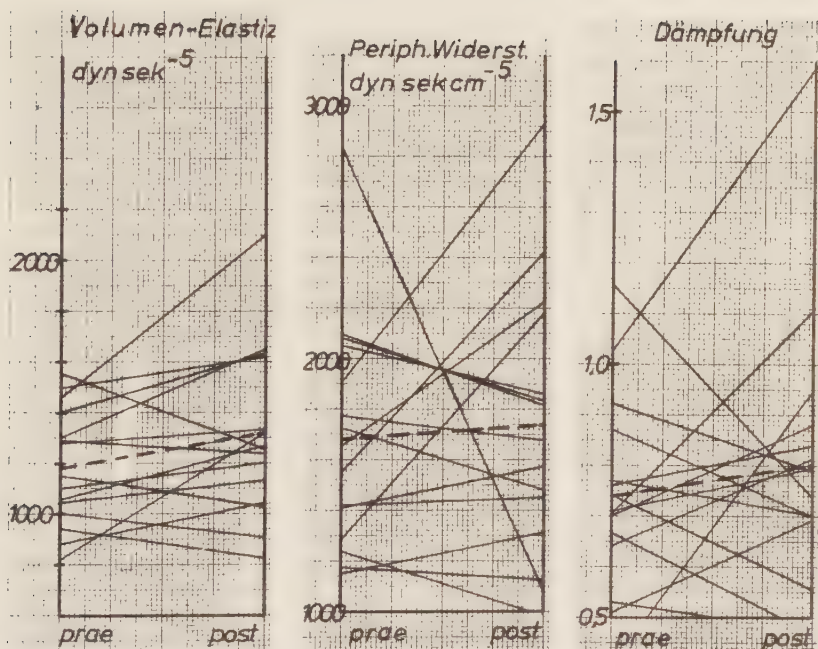
Diastolischer Blutdruck, Frequenz, Pulswellengeschwindigkeit

Der diastolische Blutdruck sank im Mittel von prae 83,33 mmHg auf 79,66 mmHg.

Der Mittelwert der Frequenz stieg von prae 75,293 / min auf post 80,80/min.

Die Pulswellengeschwindigkeit erhöhte sich im Mittelwert von 5,11 m/sek auf 5,29 m/sek.

Trotz der Veränderungen konnte weder ein Absinken des diastolischen Blutdrucks noch ein Anstieg der Frequenz und der Pulswellengeschwindigkeit statistisch nachgewiesen werden.



Volumenelastizität, Peripherer Widerstand, Dämpfung

Die Volumenelastizität stieg von prae 1184,73 dyn sek^{-5} auf 1318,37 dyn sek^{-5} , der periphere Widerstand von prae 1687,4 dyn sek cm^{-5} auf post 1730,80 dyn sek cm^{-5} und die Dämpfung, der Quotient aus Volumenelastizität und peripherem Widerstand, erhöhte sich von prae 0,74 auf post 0,80 im Mittelwert.

Auch hier konnte man diese Veränderungen statistisch nicht sichern.

Schlagvolumen

x prae
o post

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

o

x

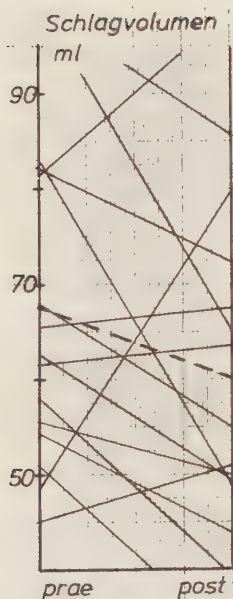
o

x

o

Abb.:2

30 40 50 60 70 80 90



Schlagvolumen (V_s)

Die Normalwerte des Schlagvolumens schwanken bei der verwendeten Methode zwischen 50 und 80 ml. Bei Untersuchungsbeginn betrug das durchschnittliche V_s 67,65 ml, bei Untersuchungsende 60,26 ml. Während dreiwöchiger Immobilisierung wurde somit das V_s kleiner. Diese Verringerung ließ sich statistisch nicht sichern, jedoch zeigt Abb. 2, daß fast durchgehend eine Tendenz zur Verringerung des Schlagvolumens besteht.

Minutenvolumen (V_m)

Die Normalwerte des Minutenvolumens liegen bei 3-6 l/min. Bei Untersuchungsbeginn betrug das durchschnittliche Minutenvolumen 5,17 l/min, bei Untersuchungsende 5,06 l/min. Somit verkleinerte sich während dreiwöchiger Immobilisierung das Herzminutenvolumen nur gering, und diese Veränderung ließ sich statistisch nicht sichern.

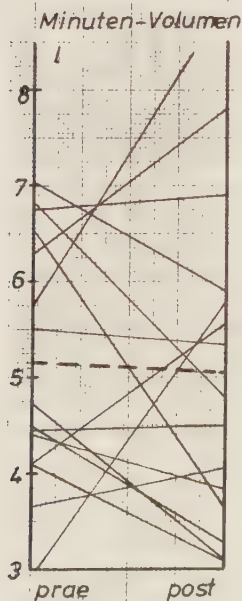


Abb. 2: Bei der Prüfung auf Normalverteilung auf dem Wahrscheinlichkeitsnetz kann man eine deutliche Tendenz zur Abnahme feststellen. Es fällt dabei auf, daß sich die beiden annähernden Geraden, die sich im mittleren Wahrscheinlichkeitsbereich ergeben, beim Merkmalsgrenzwert von etwa 75 ml auf der Höhe von etwa 85 % der Gesamtzahl schneiden. Unterhalb dieser 75 ml-Grenze werden die Differenzen mit kleinerem V_s immer größer, oberhalb dieser Grenze läßt sich allerdings keine entsprechende Vergrößerung der Werte erkennen.

Herzarbeit

x prae

o post

Abb.: 3

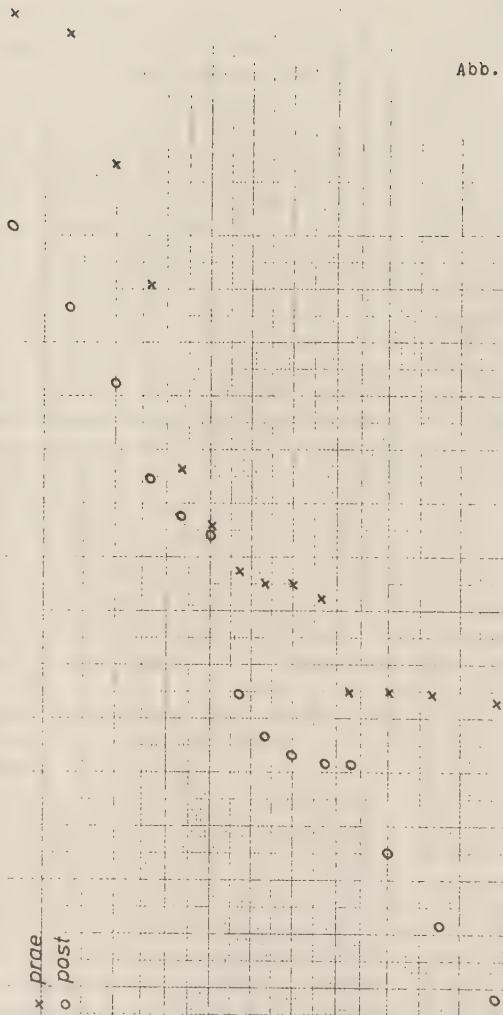
12000

10000

8000

6000

4000



Herzarbeit (H_a)

Die Normalwerte der Herzarbeit schwanken bei der verwendeten Methode um 10000 cm g. Bei Untersuchungsbeginn war die durchschnittliche H_a 9097,8 cm g, bei Untersuchungsende 7627,2 cm g. Somit verringerte sich die Herzarbeit während dreiwöchiger Immobilisierung. Diese Abnahme ließ sich statistisch zwar nicht sichern, jedoch kann man auf dem Wahrscheinlichkeitsnetz (Abb. 3) erkennen, daß fast durchwegs eine Tendenz zur Verkleinerung besteht.

Herzleistung (H_l)

Die Herzleistung (Normalwerte um 10000 cm g sek⁻¹) betrug bei Untersuchungsbeginn im Durchschnitt 11546,9 cm g/sek, bei Untersuchungsende 10174,8 cm g/sek. Diese geringe Verringerung während dreiwöchiger Immobilisierung konnte statistisch nicht gesichert werden.

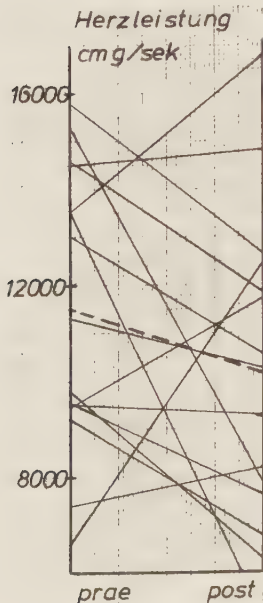
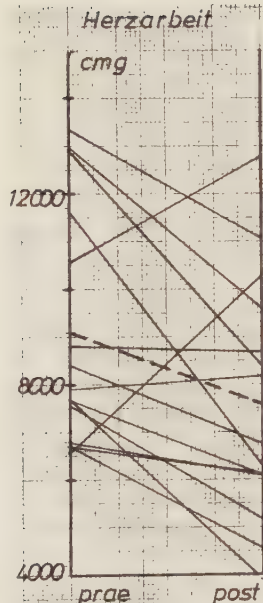
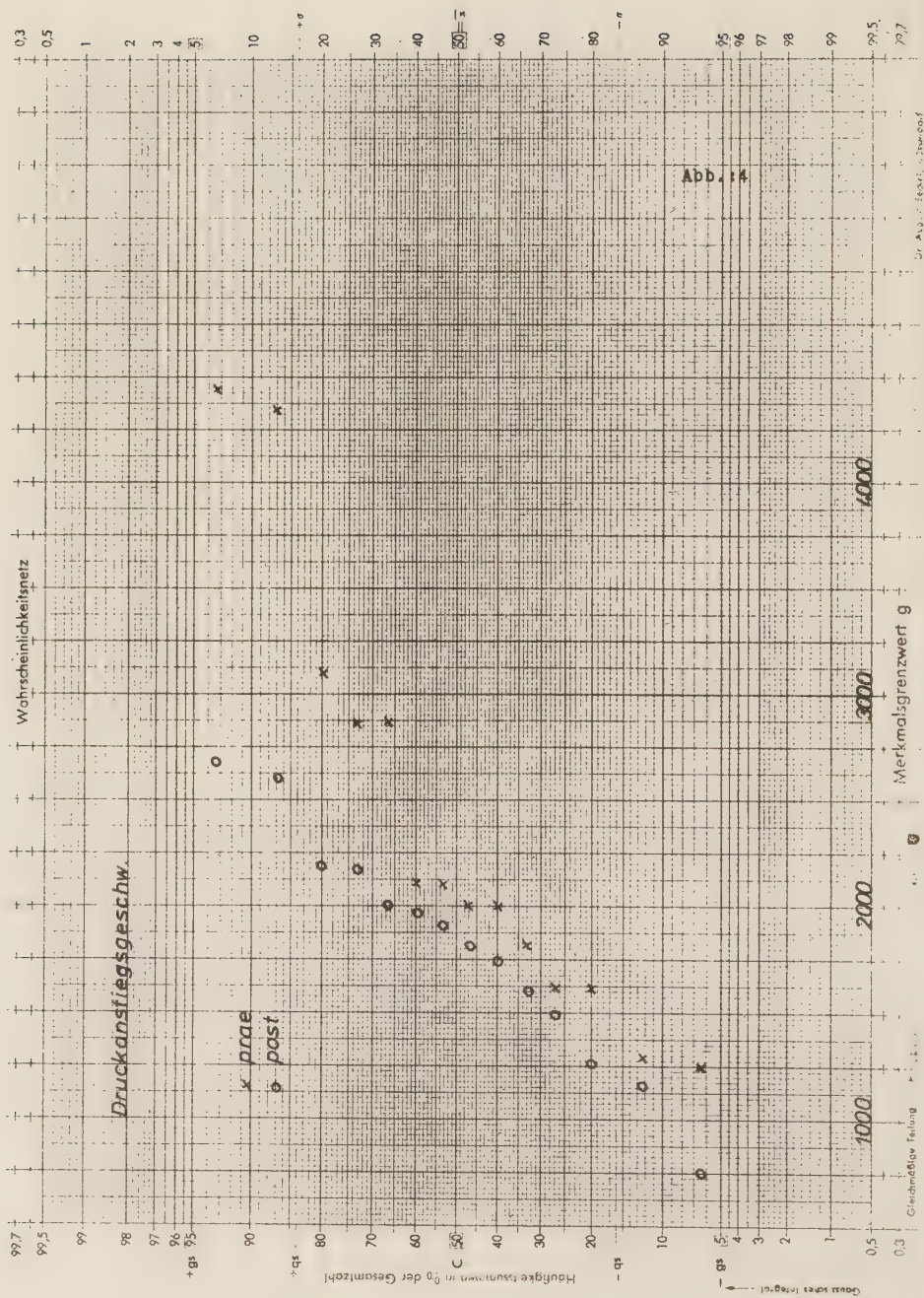


Abb. 3: Bei der Prüfung auf Normalverteilung auf dem Wahrscheinlichkeitsnetz kann man die Tendenz einer Verringerung der Herzarbeit erkennen. Die "post"-Werte liegen im mittleren Wahrscheinlichkeitsbereich annähernd auf einer Gerade, die "prae"-Werte jedoch zeigen eine große Streuung.



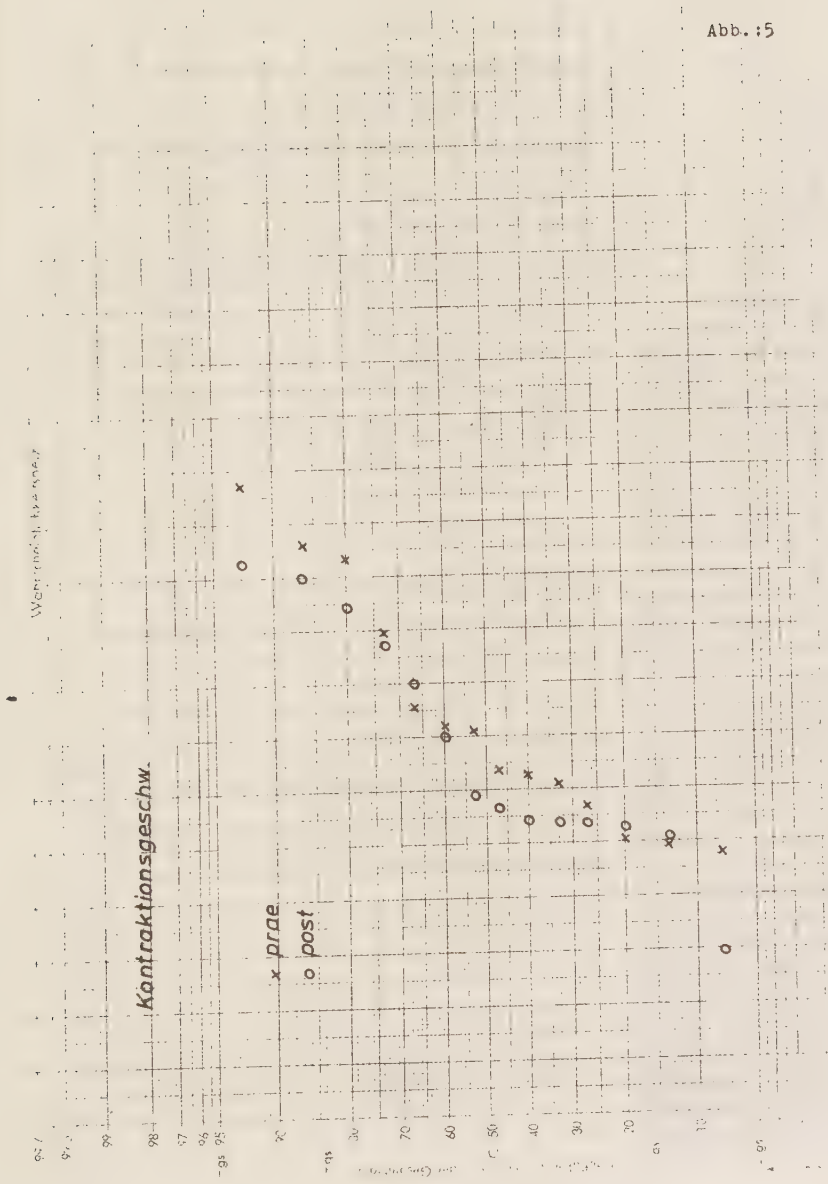
Abd. 4

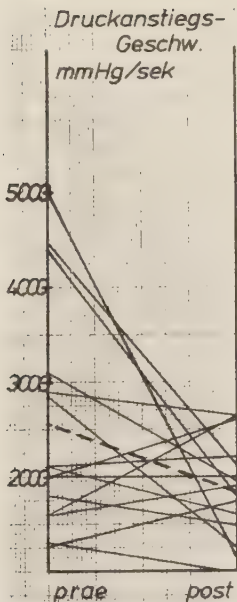
Kontraktionsgeschw.

x prae
o post

100 200 300 400

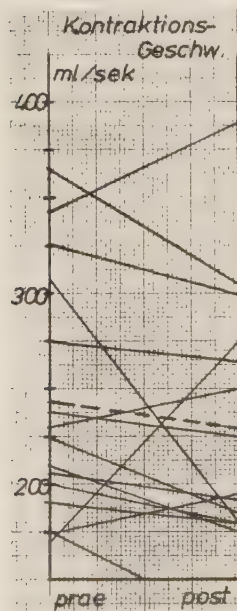
Abb.:5





Druckanstiegsgeschwindigkeit (DAG)

Bei Untersuchungsbeginn betrug die Druckanstiegsgeschwindigkeit im Mittelwert 2562,3 mmHg/sek, bei Untersuchungsende 1877,8 mmHg/sek. Während dreiwöchiger Immobilisation verringerte sich somit die DAG durchschnittlich um 684,5 mmHg/sek. Diese Abnahme unter Immobilisierung ließ sich statistisch nicht sichern wegen der zu großen Streuung der "prae"-Werte, wie Abbildung 4 jedoch zeigt, besteht fast durchgehend die Tendenz zur Verringerung der Druckanstiegsgeschwindigkeit.

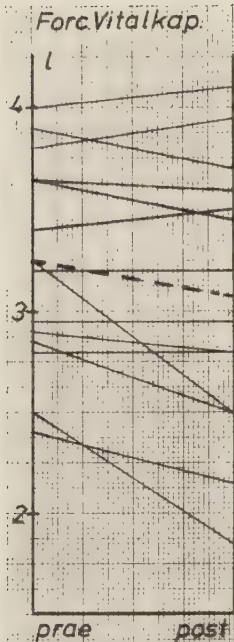


Kontraktionsgeschwindigkeit (KG)

Ähnlich der Druckanstiegsgeschwindigkeit verkleinerten sich Werte von 242,5 ml/sek bei Untersuchungsbeginn auf 229,2 ml/sek bei Untersuchungsende. Auch hier konnte ein Absinken der KG während dreiwöchiger Immobilisation statistisch nicht gesichert werden, dennoch kann man in Abbildung 5 die Tendenz zur Abnahme erkennen.

Abb. 4: Bei der Prüfung auf Normalverteilung auf dem Wahrscheinlichkeitsnetz kann man die Tendenz einer Verringerung der Druckanstiegsgeschwindigkeit erkennen. Auffallend ist die relativ große Streuung der "prae"-Werte, die "post"-Werte liegen im mittleren Wahrscheinlichkeitsbereich annähernd auf einer Geraden.

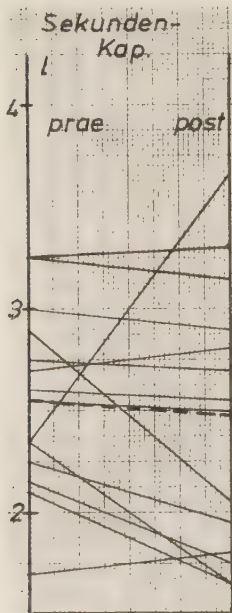
Die Kontraktionsgeschwindigkeit läßt ebenfalls die Tendenz zur Abnahme erkennen (Abb. 5).



Forcierte Vitalkapazität und Sekunden-
kapazität

Die forcierte Vitalkapazität, prae 3232,14 l und post 3075,00 l, und die Sekundenkapazität prae 2564,28 und post 2457,14, sanken zwar gering ab, jedoch konnte dieser Abfall statistisch auf dem 5%-Niveau nicht gesichert werden.

Ähnlich konnte man beim Tiffeneau-Test und bei den sonstigen Lungenfunktionswerten keine bzw. nur geringe Veränderungen feststellen.



Herzvolumen
(ccm)

	<u>Alter</u> (Jahre)	prae	post
7.	32	533	473
8.	33	541	448
9.	12	497	559
10.	28	630	560
15.	19	400	420

Das Herzvolumen zeigt bei drei Fällen eine Verkleinerung, bei zwei Fällen eine Zunahme während dreiwöchiger Immobilisation. Wegen der geringen Anzahl konnte hier das Ergebnis statistisch weder gesichert werden, noch läßt sich eine Tendenz ableiten.

Besonderheiten beim EKG

prae	post
1.	$-T_{V_1}$; U
2. Rechtsverspätung	$-T_{V_1}$; Rechtsverspätung
3.	flache T_{V_1} ; linkstypisch
4. -- isoelektrisches	T_{III} --
5.	kleinere Ausschläge; neg. T_{V_1} ; linkstypischer
6. T_{V_1} isoelektrisch	linkstypischer
7.	
8.	linkstypischer
9. $-T_{V_1}$	(linkstypischer)
10. re-Verspätung; -- respirat. Arrhythmie	λ -Welle -- linkstypischer, re-Verspätung
11. ascend. ST-Senkung V_5 angedeut. doppelgipflige p-Welle in V_1	keine ST-Senkung; linkstypischer
12. Q-Zacke in I; neg. T-Welle in V_1	neg. T-Welle in V_1
13. neg. T-Welle in V_1	flach neg. T-Welle in V_1
14. re-Verspätung; respirat. Arrhythmie; flach neg. T_{V_1}	re.-Verspätung; flach neg. T_{V_1}
15. re-Verspätung neg. T-Welle in V_1	re.-Verspätung; re-typischer

Diskussion

Sucht man in der einschlägigen Literatur nach vergleichbaren Untersuchungen über die Auswirkungen einer längeren Immobilisation auf die Herz- und Kreislaufdynamik, Elektrokardiogramm, Lungenfunktion und Herzvolumen, so ist die Ausbeute gering.

Vallbona und Mitarbeiter (26,27,28) fanden bei Untersuchungen an 6 Testpersonen, die sich einer 3-tägigen, nicht strengen Bettruhe unterzogen, keine deutlichen Anzeichen von Veränderungen.

In einer zweiten Untersuchung an 7 Testpersonen mit der Dauer von 14 Tagen unter ähnlichen Versuchsbedingungen stellte er bis zum fünften Tag noch keine Anzeichen von Veränderungen fest, danach jedoch einen unwesentlichen Trend zur Abnahme des systolischen Blutdrucks und einen unwesentlichen Trend zur Steigerung der Pulswellengeschwindigkeit bis zum 14. Tag, vergleichbar mit den Ergebnissen unserer Untersuchungen. Die Herz- und Atemfrequenz blieben unverändert.

Untersuchungen von Taylor (23,24) an 5 Testpersonen ergaben nach 20-tägiger Bettruhe eine nicht signifikante Abnahme des Schlagvolumens und Minutenvolumens und eine nicht signifikante Zunahme der Herzfrequenz, aber keine Veränderungen bei der Lungenfunktion, was auch in unseren Untersuchungen festgestellt wurde.

Das Fehlen von Signifikanzen bei diesen Ergebnissen in der Literatur liegt teilweise an anderen Meßmethoden, vor allem

aber wurden jeweils nur wenig Testpersonen untersucht. Bei unseren Untersuchungen an 16 Patienten, die aus orthopädischer Indikation eine mindestens 3-wöchige strenge Bettruhe einhalten mußten, konnte die Abnahme der Austreibungszeit, des systolischen Quotienten, des systolischen Blutdrucks und des arteriellen Mitteldrucks statistisch gesichert werden. Die Diastolendauer, das Schlagvolumen, die Herzarbeit, die die Druckanstiegsgeschwindigkeit und die Kontraktionsgeschwindigkeit ließen auf dem Gauß'schen Wahrscheinlichkeitsnetz eine deutliche Tendenz einer Abnahme erkennen. Betrachtet man die einzelnen Parameter der zeitlichen Herzdynamik, die man durch Auswertung der Herzdynamikkurven erhält, so stellt man durchwegs Veränderungen fest, die mit Ausnahme der Austreibungszeit, deren Verkürzung signifikant ist, und der Diastolendauer, die eine deutliche abfallende Tendenz zeigt, entweder einen unbedeutenden Trend zur Verlängerung (bei der Anspannungszeit, Umformungszeit, Druckanstiegszeit, Frequenz) oder einen geringen Trend zur Verkleinerung (Systolendauer, Pulsperiodendauer). Daher muß sich der systolische Quotient S/A verringern, da die Austreibungszeit S signifikant kleiner wird, die Anspannungszeit A nur unwesentlich ansteigt.

Der systolische Blutdruck wird signifikant kleiner, der diastolische Blutdruck fällt nur unmerklich ab, somit muß die Blutdruckamplitude und der arterielle Mitteldruck ebenfalls absinken.

Daraus folgen die Ergebnisse der einzelnen Parameter der Kreislaufdynamik. Die Volumenelastizität, die vom Quotienten

aus Pulswellengeschwindigkeit c durch Aortenquerschnitt mal Austreibungszeit S abhängt, muß größer werden, da c nur gering ansteigt, S dagegen signifikant kleiner wird. Diese Vergrößerung der Volumenelastizität ist aber nur als geringer Trend zu erkennen.

Deutlicher zeigt sich jedoch die Abnahme des Schlagvolumens V_s , das sich vom Quotienten aus der Blutdruckamplitude Δp mal Pulsperiodendauer (also frequenzabhängig) durch die Volumenelastizität E' mal der Summe von Diastolendauer D und Anspannungszeit A ableitet. Die Pulsperiodendauer nimmt gering, die Blutdruckamplitude mehr und zwar signifikant ab, $D + A$ vermindert sich, da D eine deutliche Tendenz zur Verkleinerung zeigt und A nur gering größer wird, und die Volumenelastizität erhöht sich nur gering. Daraus folgt, daß das Schlagvolumen V_s deutlich kleiner werden muß. Dabei fällt auf dem Gauß'schen Wahrscheinlichkeitsnetz (Abb.2) außerdem noch auf, daß sich die beiden annähernden Geraden, die sich im mittleren Wahrscheinlichkeitsbereich ergeben, beim Merkmalsgrenzwert von etwa 75 ml und etwa 85% der Gesamtzahl der Fälle schneiden. Unterhalb dieser 75 ml-Grenze werden die Unterschiede mit kleinerem Schlagvolumen immer größer, oberhalb dieser Grenze läßt sich allerdings keine entsprechende Vergrößerung der Differenzen erkennen (siehe Abb.2).

Das geringe Absinken des Herzminutenvolumens, als Produkt aus Schlagvolumen und Frequenz, folgt aus der deutlichen Tendenz zur Verkleinerung des Schlagvolumens und dem geringen Anstieg der Frequenz im Mittelwert. Ebenso war ein geringer Abfall

der frequenzabhängigen Herzleistung zu erwarten, obwohl die Herzarbeit eine deutliche abfallende Tendenz zeigt.

Auch das Absinken der Kontraktionsgeschwindigkeit, der Quotient aus Schlagvolumen durch Austreibungszeit, folgt aus der statistisch gesicherten Verkürzung der Austreibungszeit.

Das Elektrokardiogramm wird gering linkstypischer, was darauf beruhen könnte, daß der muskelschwächere rechte Ventrikel in drei Wochen sich rascher an die geringer werdende Herzarbeit angepaßt hat, und somit ein stärkeres Überwiegen der "physiologischen Links-Hypertrophie" der muskelstärkeren linken Kammer folgt. (Vgl. 18).

Abgesehen von einer unwesentlichen Erhöhung der Frequenz hat eine längere Immobilisation eine trophotrope Wirkung zur Folge. Die Frequenz variiert sehr, so daß ihr gering ansteigender Trend nicht überbewertet werden darf. Dadurch sind fast alle Parameter der Herz- und Kreislaufdynamik, die frequenz- und auch blutdruckabhängig sind, mit Fehlern behaftet und zeigen somit nur teilweise signifikante Veränderungen. Trotzdem lassen sich häufig deutliche Tendenzen erkennen.

Zusammenfassung

Es wurden insgesamt 16 "herzgesunde" Patienten untersucht, die aus orthopädischer Indikation strenge Bettruhe von mindestens 3 Wochen einhalten mußten. Vor und nach dieser Bettruhe wurden bei 15 von diesen Patienten jeweils eine Herz- und Kreislaufdynamik durchgeführt und ein Elektrokardiogramm geschrieben, bei 14 Fällen zusätzlich die Lungenfunktion geprüft und bei 5 Fällen überdies das Herzvolumen bestimmt.

Bei folgenden hämodynamischen Meßwerten konnte eine signifikante Änderung nach 3wöchiger Bettruhe statistisch gesichert werden:

1. Die Austreibungszeit wird kleiner.
2. Der systolische Quotient nimmt ab.
3. Der systolische Blutdruck sinkt ab.
4. Der arterielle Mitteldruck fällt ebenfalls.

Für folgende Ergebnisse konnten zwar keine statistische Änderungen festgestellt werden, jedoch lassen sie auf dem Wahrscheinlichkeitsnetz eine deutliche Tendenz zur Verkleinerung erkennen:

1. Die Diastolendauer.
2. Das Schlagvolumen.
3. Die Herzarbeit.
4. Die Druckanstiegsgeschwindigkeit.
5. Die Kontraktionsgeschwindigkeit.

Die Lungenfunktionsprüfung und die Herzvolumenbestimmung zeigten keine wesentlichen Änderungen.

6. Literaturverzeichnis

1. Blumberger, KJ. u. H. Linke
Herz- und Gefäßkrankheiten (D)
in
Braun (Hg)
Inn. Med. in Klinik u. Praxis
Leipzig 1957, S 342, 396, 416
2. Blumberger, KJ.
Die Herzdynamik in der klinischen Diagnostik
in
Weber, A.u. KJ.Blumberger, 1. Freiburger Kolloquium 1958
München-Gräfelfing 1958, S. 84
3. Caesar, K. u. D. Jeschke
Trainingseinflüsse auf die Kreislaufperipherie
Der Internist, 8, 283 (1970)
4. Frucht, Ad. H.
Aortenquerschnitte (Tab.)
Zeitschrift für Kreislaufforschung, 42, 401 (1953)
5. Heinecker, R.
EKG-Fibel
Stuttgart 1970
6. Hoff, F., H. Losse
Sympathikotonie und Parasympathikotonie
Deutsche Medizinische Wochenschrift 80, 529 (1955)
7. Hollmann, W.
Der Arbeits- und Trainingseinfluß auf Kreislauf und Atmung
(Kreislaufbücherei Nr.17) Darmstadt 1959
8. Korth, C. u. J. Schmidt
Klinische Elektrokardiographie
München, Berlin, Wien 1969, 7. Auflage
9. Meiners, S.
Meßmethoden zur Analyse der Herz- und Kreislaufdynamik
in
1. Freiburger Kolloquium 1958
München-Gräfelfing 1958
10. Meythaler, M., H. Fick, W. Haas u. J. Schmidt
Die Klinische Größenbestimmung des Herzens
Arch. Kreislaufforsch. 55, 123 (1968)
11. Meythaler, M., H. Hutzler, P. Grützner u. J. Schmidt
Die Klinische Beurteilung der Herzgröße
Arch. Kreislaufforsch. 56, 26 (1968)
12. Millahn, H.P.
On relations between blood circulation values during rest
and physical fitness
Int. Z. Angew. Physiol. 21, 79 (1965)

13. Nöcker, J.
Die biologischen Grundlagen der Leistungssteigerung
Stuttgart 1966
14. Reindell, H., F. Schilge, H. Klepzig u. M.W. Kirchhoff
Kreislaufregulation
Stuttgart 1955
15. Roskamm, H. u. H. Reindell
Belastungsprüfungen in der Kardiologie
Der Internist, 8, 278 (1970)
16. Sachs, L.
Statistische Methoden
Berlin, Heidelberg, New York 1970
17. Saltin, B. u. G. Blomquist
Response to exercise after bed rest and after training
Circulation, 38, Suppl. 1 (1968)
18. Schmidt, J.
Herz- und Elektrokardiogramm des Sportlers
Der Internist, 8, 273 (1970)
19. Schuetz, E.
Physiologie des Herzens
Berlin, Göttingen, Heidelberg 1958
20. Siedek, H., R. Wenger u. E. Wick
Vergleichende Kreislaufuntersuchungen (mit Herzkatheter
und physikalischen Methoden) bei Arterienoleinwirkung
Z. Kreislaufforsch. 40, 648 (1951)
21. Spencer, W.A., C. Vallbona u. R.E. Carter
Physiologic concepts of immobilisation
Arch. of Physical Medicine 46, 89 (1965)
22. Steinmetz, H. u. M. Debelic
Leitfaden für Lungenfunktionsuntersuchungen in der Praxis
Buckingham (England): Moreton Press 1967
23. Taylor, H.L., A. Henschel, J. Brozek u. A. Keys
Effects of bed rest on cardiovascular function and work
performance
Appl. Physiol. 2, 223 (1949)
24. Taylor, H.L.
The effect of rest in bed and of exercise on cardiovascular
function
Circulation, 38, S. 1016 (1968)
25. Tobien, H.H.
Kardiale Leitsymptome I + II
Ingelheim: Boehringer 1968
26. Vallbona, C., D. Cardus u. F.B. Vogt
The effect of bedrest on various parameters of physiological
function.
Part 8. The effect on the cardiovascular tolerance to
passive tilt.
NASA Contractors Reports, 178, 1 (1965)

27. Vallbona, C., W.A. Spencer u. F.B. Vogt
The effect of bedrest on various parameters of physiological function.
Part 9. The effect on the vital signs and circulatory dynamics.
NASA CR-179, 1 (1965)
28. Vogt, F.B., W.A. Spencer, D. Cardus, u. C. Vallbona
The effect of bedrest on various parameters of physiological function.
Part 11. The effect of bedrest on blood volume, urinary volume, and urinary electrolyte excretion.
NASA Contractors Report 181, 1 (1965)
29. Weber, A. u. KJ. Blumberger
Kreislaufmessungen
in
1. Freiburger Kolloquium 1958
München-Gräfelfing 1958
30. Wetterer, E. u. Th. Kenner
Grundlagen der Dynamik des Arterienpulses
Berlin, Heidelberg 1968
31. Wezler, K.
Verh. Deutsch. Ges. Kreislaufforsch. 15, S. (1951)
32. Zissler, J.
Zur Anwendung des sphygmographischen Verfahrens bei der klinischen Kreislaufuntersuchung
Arch. Kreislaufforsch. 19, 58 (1953)

7. Anhang

Zeitliche Herzdynamik

	Diastolendauer D(msek)		Systolendauer A+S (msek)	
	prae	post	prae	post
1.	471	423	420	383
2.	329	406	354	360
3.	492	564	414	432
4.	472	468	370	400
5.	388	536	400	444
6.	434	332	366	350
7.	431	315	403	389
8.	590	409	420	417
9.	496	350	416	391
10.	462	260	423	307
11.	252	305	350	376
12.	405	401	405	419
13.	422	395	358	367
14.	383	427	375	376
15.	360	197	350	297
Mittelwert				
$\bar{x}$	425,8	385,866666	388,266666	380,533333
Varianz				
s^2	6390,6	9471,695513	807,924086	1715,409659

	Austreibungszeit S(msek)		Umformungszeit UZ (msek)	
	prae	post	prae	post
1.	300	267	70	76
2.	288	260	48	63
3.	300	300	70	78
4.	273	277	68	60
5.	304	280	80	95
6.	273	240	64	72
7.	267	263	73	80
8.	285	290	79	80
9.	288	271	88	90
10.	308	217	79	60
11.	258	259	69	67
12.	275	300	68	69
13.	238	269	70	68
14.	269	270	68	56
15.	270	205	55	60
$\bar{x}$	279,733333	264,533333	69,933333	71,60
s^2	362,352480	722,552475	96,638120	132,114285

Druckanstiegszeit
DAZ (msek)

Frequenz
Fr (/min)

	prae	post	prae	post
1.	50	40	67	74
2.	18	37	80,4	78
3.	44	54	66	60
4.	28	63	71,3	69
5.	16	69	76	61,2
6.	29	38	75	88
7.	63	46	72	85
8.	56	47	59,5	72,6
9.	40	30	66	82
10.	36	30	67,8	106
11.	23	50	99,7	88
12.	62	50	88	73
13.	50	30	77	78
14.	38	50	79,2	74
15.	33	32	84,5	121,5
$\bar{x}$	39,066666	44,40	75,293333	80,80
s^2	225,352408	145,542857	104,330693	256,472857

Anspannungszeit
A (msek)

	prae	post
1.	120	116
2.	66	100
3.	114	132
4.	97	123
5.	96	164
6.	93	110
7.	136	126
8.	135	127
9.	128	120
10.	115	90
11.	92	117
12.	130	119
13.	120	98
14.	106	106
15.	88	92
$\bar{x}$	109,066666	116,00
s^2	404,781030	344,571428

Frequenzrelative Austreibungszeit S (%)		Systolischer Quotient S/A			
	prae	post		prae	post
1.	102,89	94,30		2,50	2,30
2.	105,50	94,50		4,36	2,60
3.	102,43	94,00		2,63	2,77
4.	95,54	96,04		3,85	2,25
5.	109,20	93,35		3,17	1,71
6.	97,48	92,30		2,94	2,18
7.	94,00	99,13		1,93	2,085
8.	94,35	102,80		1,965	2,28
9.	98,20	100,52		2,25	2,26
10.	106,10	92,56		2,68	2,41
11.	105,80	99,28		2,80	2,207
12.	105,36	116,40		2,11	2,52
13.	85,95	97,64		1,985	2,75
14.	94,62	96,30		2,54	1,69
15.	101,50	103,40		3,07	2,218
$\bar{x}$	99,928	98,168		2,718666	2,282
s^2	39,617874	38,007831		0,483153	0,097838

Kreislaufdynamik

Aortenquerschn. AoQ (cm ²)		Pulswellengeschw. c (m/sek)		Blutdruck RR (mmHg)	
		prae	post	prae	post
1.	4,0	6,25	6,25	145/100	125/80
2.	2,6	6,00	6,00	120/ 80	110/80
3.	4,2	5,25	6,18	110/ 80	110/80
4.	3,4	4,37	4,70	130/ 80	120/80
5.	3,6	5,37	5,37	110/ 80	110/80
6.	3,2	5,37	5,97	125/ 90	110/75
7.	3,1	5,00	5,13	120/ 80	120/80
8.	3,4	5,25	4,78	120/ 90	120/80
9.	3,4	4,88	5,50	110/ 80	110/80
10.	3,4	4,05	4,61	120/ 80	120/80
11.	3,9	7,38	6,00	130/100	120/90
12.	3,5	5,86	6,14	130/ 80	120/80
13.	3,8	4,00	4,00	120/ 80	120/80
14.	2,3	4,37	4,75	140/ 80	120/80
15.	1,8	3,32	4,00	110/ 70	110/70
Mittelwert $\bar{x}_2$		5,114466	5,292		
Varianz s^2		1,050857	0,619517		

<u>Systolischer Blutdruck</u>		<u>Diastolischer Blutdruck</u>	
RR _{syst.} (mm Hg)		RR _{diast} (mm Hg)	
prae	post	prae	post
$\bar{x}$	122,666666	83,333333	79,666666
s^2	117,381040	66,666696	15,952437

Arter. Mitteldruck

P_m

	prae	post
1.	119,35	100,00
2.	97,20	92,20
3.	92,90	92,90
4.	101,50	97,20
5.	92,90	92,90
6.	105,05	90,05
7.	97,20	97,20
8.	102,90	97,20
9.	92,90	92,90
10.	97,20	97,20
11.	112,90	102,90
12.	101,50	97,20
13.	97,20	97,20
14.	105,80	97,20
15.	87,20	87,20
$\bar{x}$	100,246666	95,476666
s^2	68,457381	15,776092

Blutdruckamplitude

Δp

	prae	post
	45	45
	40	30
	30	30
	50	40
	30	30
	35	35
	40	40
	30	40
	30	30
	40	40
	30	30
	50	40
	40	40
	60	40
	40	40

Volumenelastizität

E' (dyn sek

	prae	post
1.	1104	1204,6
2.	1405	1630
3.	883	1040
4.	999	917
5.	1041	1130
6.	1304	1649
7.	1280	1335
8.	1148	1028
9.	1055	1268
10.	820	1325
11.	1556	1259
12.	1290	1240
13.	938	830
14.	1495	1620
15.	1453	2300
$\bar{x}$	1184,733333	1318,373333
s^2	53841,067089	134526,176851

Peripherer Widerstand

W (dyn sek cm^{-5})

	prae	post
	1720	1480
	1899	2925
	1649	2225
	1151	1311
	1552	2411
	2054	1865
	1768	1681
	2845	1089
	2075	1843
	1170	1128
	2090	1820
	1401	1569
	1235	985
	1282	2180
	1420	1450
	1687,400000	1730,800000
	209776,114285	289392,028571

E' / W Dämpfung

	prae	post
1.	0,642	0,814
2.	0,741	0,558
3.	0,535	0,468
4.	0,866	0,700
5.	0,672	0,469
6.	0,699	0,883
7.	0,725	0,788
8.	0,400	0,945
9.	0,509	0,687
10.	0,700	1,100
11.	0,773	0,690
12.	0,920	0,792
13.	0,760	0,843
14.	1,160	0,743
15.	1,023	1,586

Schlagvolumen
V_s (ml)

	prae	post
1.	82,10	72,44
2.	50,98	32,27
3.	67,92	55,23
4.	98,92	85,56
5.	62,77	49,71
6.	54,56	43,85
7.	61,30	63,60
8.	48,50	80,03
9.	55,40	49,90
10.	99,50	65,00
11.	44,80	51,20
12.	65,50	67,50
13.	81,60	99,20
14.	83,00	49,00
15.	58,00	39,500
$\bar{x}$	67,656666	60,266000
s ²	305,811586	337,012082

Minutenvolumen
V_m (l/min)

prae	post
5,500	5,360
4,110	2,550
4,480	3,314
7,050	5,910
4,770	3,080
4,099	3,860
4,410	5,410
2,885	5,810
3,650	4,075
6,750	6,890
4,470	4,510
5,760	8,940
6,290	7,800
6,570	3,640
6,870	4,800
5,177600	5,063253
1,721235	3,248193

Herzarbeit H_a (cm g)		Herzleistung H_l (cm g/sek)	
prae	post	prae	post
1. 13032,6	9635,0	14626	11950
2. 7730,0	3981,0	13500	5200
3. 8380,0	6752,0	9248	6780
4. 13350,0	11080,0	15850	12750
5. 7740,0	6140,0	9830	6260
6. 7615,0	5249,0	9520	7685
7. 7890,0	8235,0	9457	11697
8. 6630,0	10327,0	6580	12442
9. 6755,0	6070,0	7412	8190
10. 12880,0	8400,0	14460	14800
11. 6720,0	6099,0	11350	10268
12. 8825,0	8720,0	12990	10630
13. 10550,0	12810,0	13520	16810
14. 11650,0	6330,0	15390	7890
15. 6720,0	4580,0	9470	9270
$\bar{x}$ 9097,84	7627,20	11546,866666	10174,80
s^2 6238553,412571	6422932,028571	8847987,560628	10760785,457142

Druckanstiegsgeschw. DAG (mm Hg/sek)		Kontraktionsgeschw. KG (ml/sek)	
prae	post	prae	post
1. 2000	2000	274,6	268,0
2. 4440	2160	176,0	124,0
3. 1820	1480	226,0	184,0
4. 2860	1270	366,0	306,0
5. 5000	1160	209,0	177,0
6. 3100	1970	202,0	183,0
7. 1270	1740	228,5	250,8
8. 1605	1904	170,3	276,0
9. 2000	2600	192,2	183,2
10. 2880	2660	323,0	300,0
11. 4350	1800	173,6	197,7
12. 1290	975	238,0	225,0
13. 1600	2660	343,0	388,5
14. 2100	1600	308,0	181,5
15. 2120	2188	207,0	192,6
$\bar{x}$ 2562,333333	1877,8	242,480000	229,153333
s^2 1419045,953296	3905392,4	4184,074571	4654,262748

Lungenfunktionsprüfung.

<u>Forcierte Vitalkapazität</u>		<u>Atemstoß 1. Sekunde</u>		
FVC (ml)		FEV _{1,0} (ml)		
	prae	post	prae	post
1.	3250	2500	2350	1650
2.	3900	3700	3000	2900
3.	2900	2800	2150	1750
4.	3650	3600	2700	2800
5.	4000	4100	2350	3650
6.	2850	2500	2250	1950
7.	3200	3200	2750	2700
8.	3400	3500	2900	2050
9.	2500	1850	2100	1650
10.	3650	3450	3250	3150
11.	2950	2950	2600	2550
12.	2400	2150	1700	1800
13.	3800	3950	3250	3300
14.	2800	2800	2550	2500
$\bar{x}$	3232,142857	3075,00	2564,285714	2457,142857
s^2	168310,440057	461826,923076	201703,297492	434945,055323

Atemgrenzwert indirekt MVV _{ind} (FEV _{1,0} ×37,5) (l/min)			Tiffeneuatest FEV _{1,0} %		Forcierter Atemstrom zu Beginn der Aus- atmung (FEF _{200-1200ml})	
	prae	post	prae	post	prae	post
1.	8,57	6,18	73	66	248	136
2.	11,24	10,87	77	77	350	250
3.	8,05	6,56	75	63	140	104
4.	10,11	10,49	74	70	187	210
5.	8,57	13,30	59	89	130	250
6.	8,43	7,31	79	78	220	180
7.	10,30	10,11	86	84	380	270
8.	10,87	7,69	85	88	290	360
9.	7,87	6,18	89	89	150	120
10.	12,18	11,80	89	91	360	320
11.	9,75	9,56	88	86	247	360
12.	6,37	6,75	71	84	105	178
13.	12,18	12,37	85	84	420	500
14.	9,56	9,37	90	90	195	210

Forcierter Atemstrom
im Mittelteil (25-75%)
der Ausatmung (FMF)

Forcierte Atemstromzeit
im Mittelteil der Ausat-
mung (FMFT) (sek)

	prae	post	prae	post
1.	100	64	1,00	1,15
2.	149	165	0,80	0,65
3.	185	95	0,75	0,90
4.	147	148	0,75	0,70
5.	165	225	0,75	0,55
6.	120	97	0,70	0,80
7.	225	210	0,45	0,45
8.	220	270	0,45	0,40
9.	140	117	0,50	0,50
10.	210	233	0,45	0,45
11.	227	220	0,40	0,40
12.	100	142	0,80	0,45
13.	240	230	0,50	0,50
14.	163	167	0,50	0,50

Elektrokardiogramm

Frequenz
Fr (/min)

T (Typ)

	prae	post	prae	post
1.	75	65	I/II	II
2.	65/83	75/80	I	I/II
3.	78/85	67	II	II
4.	75/80	74	I/II	I/II
5.	81	62/66	I/II	I/II
6.	70	95	II	?
7.	72	75/85	II	II
8.	68	85	II	II
9.	65	78	I	I
10.	70	100	II	II
11.	100	85	I/II	I/II
12.	75	70	I	I/II
13.	70	70	II	I
14.	85	90	II	II
15.	100	112	I/II	I/II

	<u>PQ</u> (sek)		<u>QT</u> (sek)	
	prae	post	prae	post
1.	0,15	0,15	0,40	0,36
2.	0,13	0,14	0,40	0,37
3.	0,16	0,16	0,37	0,36
4.	0,10	0,11	0,35	0,38
5.	0,17	0,17	0,38	0,41
6.	0,15	0,14	0,38	?
7.	0,17	0,16	0,35	0,35
8.	0,17	0,19	0,37	0,36
9.	0,16	?	0,39	0,37
10.	0,16	0,17	0,37	0,32
11.	0,12	0,17	0,32	0,32
12.	0,15	0,18	0,34	0,37
13.	0,10	0,10	0,35	0,35
14.	0,16	0,18	0,35	0,34
15.	0,13	0,12	0,32	0,30

	<u>P (Typ)</u>		<u>P (Zeit)</u> (sek)	
	prae	post	prae	post
1.	II	II	0,10	0,10
2.	II	II/III	0,08	0,06
3.	II	II	0,10	0,10
4.	I	I	0,06	0,07
5.	II	I/II	0,10	0,10
6.	I(I-III)	I	0,10	0,09
7.	II	II	0,09	0,08
8.	II	II	0,10	0,11
9.	II	?	0,10	?
10.	I	II	0,09	0,09
11.	II	I/II	0,07	0,11
12.	II	II	0,07	0,10
13.	I	I	0,08	0,08
14.	I	I	0,10	0,10
15.	II	II	0,08	0,08
$\bar{x}$			0,088000	0,090714
s ²			0,000188	0,000222

<u>QRS-Typ</u>			<u>QRS-Zeit</u> (sek)	
	prae	post	prae	post
1.	II	I	0,08	0,07
2.	II	II	0,10	0,10
3.	II	II	0,09	0,09
4.	II	II	0,08	0,08
5.	II	II	0,10	0,08
6.	III	III	0,080	0,08
7.	II/III	II/III	0,12	0,09
8.	II	II	0,08	0,08
9.	I/II	I	0,09	0,10
10.	I/II	I	0,09	0,10
11.	I/II	I	0,07	0,07
12.	I	I	0,08	0,08
13.	II	I/II	0,09	0,09
14.	II	II	0,10	0,10
15.	II	II	0,08	0,07
$\bar{x}$			0,088666	0,085333
s^2			0,000155	0,000126

<u>QTrel</u> (%)			<u>Übergangszone</u>	
	prae	post	prae	post
1.	116	97	V_3	V_3/V_4
2.	116	110	V_4/V_5	V_4
3.	112	100	V_3/V_4	V_3/V_4
4.	104	110	V_3	V_2/V_3
5.	113	100	V_4	V_3/V_4
6.	106	?	V_5	V_4/V_5
7.	100	98	?	V_4
8.	102	110	V_3	V_3
9.	105	110	V_3	V_2/V_3
10.	102	106	V_4/V_5	V_4/V_5
11.	106	98	V_4	V_4
12.	98	103	V_2/V_3	V_2
13.	99	99	V_3	V_3
14.	108	106	V_3	V_3
15.	106	104	V_3	V_3/V_4

An dieser Stelle möchte ich Herrn Dr.med. Uwe Sokoll und Herrn Privatdozent Dr.med. Erich Lang für die Überlassung des Themas der Arbeit, für ihre Mühen und guten Ratschläge,, mit denen sie mir jederzeit zur Seite standen, vielmals herzlich Dank sagen, ebenso Fräulein Ehrensberger für die freundliche und hilfsbereite Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen.

Danken möchte ich auch Herrn Professor Dr.med. Carl Korth für die bereitwillige Übernahme des Referates.

Lebenslauf

Ich wurde am 19. Juni 1945 in Riedenburg/Opf. als Sohn des Diplom-Ingenieurs Alfred Kessel und seiner Ehefrau, der Zahnärztin Halina Kessel, geboren.

In den Jahren 1951 bis 1955 besuchte ich die Volksschule in Altmannstein, anschließend die Christoph-Scheiner-Oberrealschule in Ingolstadt. Am 22. Juli 1964 erhielt ich das Reifezeugnis. Im Wintersemester 1964/65 begann ich an der Universität Erlangen mit dem Studium der Zahnmedizin und im Sommersemester 1966 mit dem Studium der Medizin. Die Approbation als Zahnarzt wurde mir am 7. Januar 1970 erteilt. Das medizinische Staatsexamen bestand ich am 16. Febr. 1972.

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990